心理学报 2020, Vol. 52, No. 4, 399−413
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2020.00399

视觉工作记忆回溯线索效应的产生机制：认知阶段分离*

叶超雄 [1,2] 胡中华 [1] 梁腾飞 [1,3] 张加峰 [4,5] 许茜如 [1,2] 刘 强 [1]

([1] 四川师范大学脑与心理科学研究院，成都 610000) ([2] 于韦斯屈莱大学心理学系，于韦斯屈莱，芬兰 40640)
([3] 辽宁师范大学脑与认知神经研究中心，大连 116029)
([4] 中国科学院心理研究所行为科学重点实验室，北京 100101) ([5] 中国科学院大学心理学系，北京 100049)

摘 要 以往研究关于视觉工作记忆回溯线索效应的产生机制主要存在 5 种假设，目前依然存在争议。本研究通过改进前人研究实验范式，采用包含内源性回溯线索的颜色回忆报告范式，进一步对这 5 种假设进行检验。在实验 1 中，我们调控了线索与探测阵列之间的时间间隔，发现不同时间间隔不影响无线索条件的行为表现，而在正常线索条件中被试的记忆精度以及能记住的项目数量均优于无线索条件；在实验 2 中，我们对回溯线索伴随的干扰刺激类型进行控制，结果显示，在不同条件下记忆精度不存在差别，但当回溯线索伴随干扰刺激呈现时，被试能记住的项目数量会被降低，降低程度受干扰刺激的类型调制；在实验 3 中，我们对伴随回溯线索的干扰刺激的呈现时间进行控制，发现虽然回溯线索效应仍然存在，但干扰刺激的呈现时间不会影响效应程度。研究结果表明，回溯线索的出现使得被试能够在决策加工前完成内部注意资源的再分配，从而避免了同时进行这两种认知加工与记忆表征维持本身竞争认知资源。本研究为认知阶段分离假设提供了支持证据，对解决回溯线索效应产生机制的争议以及理解内部注意与视觉工作记忆的关系有重要意义。

关键词 视觉工作记忆；回溯线索效应；认知阶段分离假设；内部注意；回忆报告范式
分类号 B482

1 引言

视觉工作记忆是人类认知系统的重要组成部分(Luck & Vogel, 2013)。其作用是对视觉记忆表征进行短暂维持，为人类视觉信息的知觉编码提供存储空间，使我们能对连续改变的视觉场景进行连贯理解，同时，它所提供的存储空间能够作为信息缓冲平台，帮助我们完成日常认知活动(Hollingworth, Richard, & Luck, 2008)。存储在视觉工作记忆中的内容会形成一种稳定的表征，以防止任务无关视觉信息的干扰(Irwin, 1991)，这种表征不仅包含客体刺激本身的信息，还包含环境中多项客体刺激的结构布局信息(Nie, Müller, & Conci, 2017)。但由于视觉工作记忆只能对有限的视觉信息进行表征，其表征对象由注意的选择与控制所决定，因此，研究注意与视觉工作记忆的关系对全面理解人类认知系统具有重要意义(Fukuda & Vogel, 2009; Hitch, Allen, & Baddeley, 2019; Oberauer, 2019; Ye et al., 2019; 张明，张阳，2007)。注意可以根据其指向对象是外界客体还是个体的内在心理表征，被区分为外部注意与内部注意。前者是指对外部感觉信息的选择与控制；后者指对大脑内部表征信息的选择、控制与维持(Chun, Golomb, & Turk-Browne, 2011)。目前，内部注意对视觉工作记忆的影响机制已成为近年来的研究热点(Souza & Oberauer, 2016; 梁腾飞 等，2018)。

收稿日期：2019-10-27
* 国家自然科学基金(31700948)资助。
通信作者：刘强，E-mail: lq780614@163.com

在 Griffin 和 Nobre (2003)开创性的研究中，研究者在变化觉察范式的基础上加入了回溯线索，探究被试能否将内部注意指向某个存储在工作记忆中的表征。实验要求被试对 4 个短暂呈现的颜色进行记忆，在记忆阵列消失后，屏幕中央随机呈现两种线索，一种是指向某一记忆刺激位置的线索(有效回溯线索)，另一种是不带任何指向性的线索(中性线索)。在随后的探测任务中，在有效回溯线索条件下，被试只需判断线索指向的记忆颜色是否与探测项匹配，而在中性线索条件下，被试则需将探测项目与所有记忆颜色进行匹配。结果显示，相比于中性线索条件，被试在有效线索条件下的记忆表现更好，这种现象被称作回溯线索效应(retro-cue effect)。由于当回溯线索出现时，记忆刺激已经消失一段时间，由回溯线索所导致的反应优势只能是源自内部注意对视觉工作记忆表征的影响，而非对注意对视觉工作记忆编码和巩固加工的影响。因此，在视觉工作记忆研究中，回溯线索是考察内部注意对记忆表征影响的有效实验设置。

随后，研究者利用类似的范式通过不同的实验操控对内部注意在视觉工作记忆中的作用从多个角度进行了探究，对回溯线索效应产生机制提出了多种理论假设。综合来看，主要的理论假设有以下 5 种：(1)目标记忆强化假设，该假设认为，回溯线索的出现可以增强目标表征的稳定性或强化对目标表征的加工，减少非目标表征的资源竞争，从而使得个体能够对目标表征进行更好的信息提取。根据该假设，非线索目标表征依然会维持在视觉工作记忆中，但它们比线索目标表征拥有更低的调用提取优先级(Rerko & Oberauer, 2013; Souza, Rerko, & Oberauer, 2014)。(2)非目标记忆遗忘假设，该假设认为，回溯线索效应的产生是由于个体利用回溯线索移除对非目标表征的记忆，从而释放出更多的记忆空间，个体可以调用更多闲置记忆资源对目标表征进行维持(Kuo, Stokes, & Nobre, 2012; Williams, Hong, Kang, Carlisle, & Woodman, 2013)。(3)保护表征衰退假设，该假设认为，记忆表征会随着维持时间增加而逐渐衰退或遗忘。回溯线索效应的产生是个体根据回溯线索利用内部注意对目标表征进行视觉复述以防止表征衰退的结果(Matsukura, Luck, & Vecera, 2007; Pertzov, Bays, Joseph, & Husain, 2013)。(4)防止探测干扰假设，该假设认为，回溯线索效应并非源于记忆维持阶段，而是源于探测阵列出现时的加工阶段。当个体利用回溯线索将内部注意指向一个特定的目标表征后，将降低该表征在探测反应加工阶段由新输入的视觉信息(探测项目)对工作记忆表征的干扰(Makovski & Jiang, 2007, 2008; Makovski & Pertzov, 2015)。(5)认知阶段分离假设，该假设认为，在无回溯线索条件下，当探测阵列出现时，被试需要同时进行内部注意资源再分配(将注意指向需要报告的目标表征)以及匹配决策反应两种认知加工。这两种认知加工会与记忆表征维持本身竞争认知资源。而在回溯线索条件下，被试能够利用回溯线索提前完成内部注意资源的再分配，使内部注意加工与决策判断加工在时间上依次进行，从而避免了当探测阵列出现时所产生的认知加工竞争对记忆表征的损害(Ye, Hu, Ristaniemi, Gendron, & Liu, 2016)。

近年来，回溯线索效应已积累了大量的实证研究，但其产生机制仍存在争议(Souza & Oberauer, 2016)。其中，防止探测干扰假设与认知阶段分离假设存在一定相似性，即均认为回溯线索效应的产生机制是预防某种干扰。然而，两种假设关注的干扰来源不同，前者认为干扰源于探测加工阶段的新信息输入(感觉加工)，而后者认为干扰来源于完成探测任务所需的认知加工(注意加工与匹配决策加工同时进行)所产生的注意资源竞争。而两种假设所提出的干扰来源，在变化觉察范式中可能同步存在，难以被有效区分。如何在完成探测任务时有效去掉信息输入干扰，是区分两个假设的关键所在。如果在没有信息输入干扰的前提下仍然能够获得回溯线索效应，则可以排除防止探测干扰假设；反之，则可以排除认知阶段分离假设。

最近，研究者开始使用回忆报告范式探究回溯线索效应(Williams et al., 2013)。回忆报告范式的记忆阵列和回溯线索与变化觉察范式设置一致，被试需要对几个不同的颜色进行记忆，并利用回溯线索将内部注意转移至其中一个记忆表征。与变化觉察范式不同的是，回忆报告范式的探测阵列包含一个由 360 种颜色构成的颜色圆环，被试的任务是在探测阵列出现时对目标表征的颜色进行回忆，并在颜色圆环中选出与目标表征一致的颜色。在回忆报告范式的探测阵列中，并不存在需要被试进行感觉编码的探测项目(颜色方块)。因此，相比于变化觉察范式，回忆报告范式在排除探测刺激干扰方面存在两方面优势。一方面，在探测阵列中并不存在与记忆阵列类似的刺激，不会对被试的记忆表征造成干扰；另一方面，被试在探测反应阶段只需要提取目

标表征信息，并根据所提取信息进行选择，而不需要对两个颜色方块进行匹配比较。这一响应模式有效避免了变化觉察范式中由匹配加工所可能导致的工作记忆表征耗损。因此，利用回忆报告范式，研究者能够在最小化探测阵列信息输入干扰的前提下，探究回溯线索效应的产生机制。

另外，在变化觉察范式中，研究者只能通过正确率量化被试的记忆表现，该指标主要反映被试的记忆数量。然而，视觉工作记忆表征除了包含记忆数量参数外，还包含记忆精度参数。传统的变化觉察范式无法鉴别回溯线索效应到底是源于能记住的项目数量(记忆数量参数)的增加，还是源于记忆精度的提高。在回忆报告范式中，通过将个体的反应结果对 Bays, Catalao 和 Husain (2009)提出的 Swap 模型进行拟合，能够将数量与精度这两种参数进行分离，并获得分别反映记忆数量和记忆精度的量化指标，从而对回溯线索效应进行更细致的考察。

结合回忆报告范式, Souza, Rerko, Lin 和 Oberauer (2014)等人对回溯线索效应进行了探究。在记忆阵列(6 个颜色刺激)消失 1000 ms 后，其中一个记忆颜色位置上会出现一个白色圆圈作为线索提示。实验设置了非延迟报告和延迟报告两种条件，在非延迟报告条件下，用于响应的彩色环与白色圆圈同时呈现，被试需要在彩色环中选出位于线索位置的记忆项目的颜色。而在延迟报告条件下，白色圆圈会作为回溯线索先出现，而彩色环在回溯线索持续呈现 1000 ms 后才会呈现。结果显示，被试在非延迟报告条件中的记忆表现显著差于延迟报告条件，获得了显著的回溯线索效应。虽然该研究采用回忆报告范式，但未能够完全拒绝防止探测干扰假设。在该研究中，作者使用了外源性线索(白色圆圈)作为指示被试回忆目标的线索。由于外源性线索出现在目标刺激的位置上，这同样可能对目标刺激产生视觉掩蔽作用(类似于变化觉察范式中的探测刺激干扰)，损害对该记忆表征的维持。被试仍可能利用回溯线索通过防止探测阵列中干扰刺激的方式获得记忆优势。因此, Souza 等人(2014)的研究结果仍然无法对防止探测干扰假设和认知阶段分离假设进行鉴别。在本研究中，我们将在回忆报告范式的基础上进一步改进回溯线索的模式，通过一系列实验对回溯线索效应的产生机制进行进一步的检验。实验 1 对 Souza 等人(2014)所采用的实验范式进行了改进，我们将采用内源性线索(线索为处于屏幕中央的指向箭头)对回溯线索效应的产生机制进行探究。

2　实验 1：内源性线索的回溯线索效应

假如导致 Souza 等人(2014)发现的回溯线索效应是由于被试利用线索防止探测阵列中外源性线索产生的视觉掩蔽，当我们使用内源性线索后，将难以观察到回溯线索效应，延迟报告条件与非延迟报告条件下的行为表现差异将会消失。反之，如果回溯线索效应依然存在，则说明实验结果支持了认知阶段分离假说。在实验 1 中，我们共设置了 3 种实验条件：正常线索条件(类似于延迟报告条件)、短间隔无线索条件(类似于非延迟报告条件)和长间隔无线索条件。

2.1　研究方法

2.1.1　被试

基于以往关于回溯线索效应研究的样本量(Souza et al., 2014)和相关研究中的效应量(η^2 = 0.55)及期望功效值(0.80)，采用 G*Power 3.1 软件，计算计划样本量为 16 人以上。在实验 1 中，最终招募 20 名大学生本科生(年龄 19~22 岁, M = 19.7, SD = 1.08, 19 名女性)作为被试，皆无过往精神病史，视力或矫正视力正常，色觉正常。

2.1.2　实验材料

实验材料的选取与制作参考了 Ye 等人(2016)的研究。记忆刺激为在灰色背景(RGB 值：128, 128, 128)上所呈现的颜色方块(大小：1.1 视角×1.1 视角)。记忆阵列的颜色方块呈现在距离屏幕中央 3 视角的 4 个角落位置。屏幕中央的黑色十字作为注视点。回溯线索刺激是两个平行的箭头(大小：0.8 视角×0.8 视角)。探测阵列包含一个由 360 种颜色构成的彩色圆环(内部半径 5.8 视角，宽度 2.2 视角)，圆环中每度距离为一种颜色(每种颜色相差一个颜色角度)，记忆阵列中色块的颜色从这 360 个可能的颜色中随机选取，且每两个选取颜色间至少相差 30 个颜色角度。所有试次中彩色环呈现的颜色排列固定。实验刺激呈现在 19 吋 LCD 显示屏上(分辨率：1280×1024)。实验在一个暗实验室中进行，被试与屏幕的距离大约为 60 cm。

2.1.3　实验程序

实验 1 流程如图 1 所示，试次开始时屏幕中央会呈现一个注视点，随后包含 4 个色块的记忆阵列呈现 200 ms。实验共设置了 3 种条件：正常线索条件、短间隔无线索条件以及长间隔无线索条件。在正常线索条件下，记忆阵列消失 450 ms 后，一对平

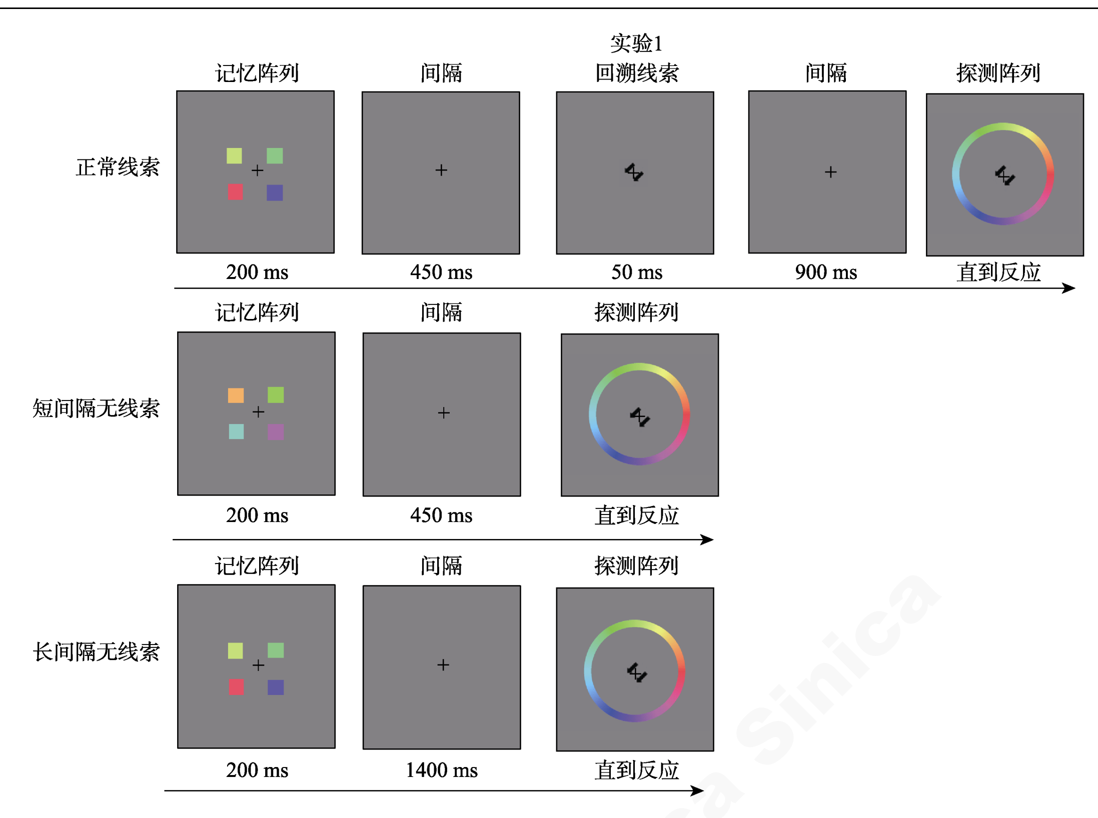


图 1 实验 1 流程图。图中分别为正常线索条件、短间隔无线索条件以及长间隔无线索条件。

行指向某一记忆色块位置的箭头线索(100%有效)在屏幕中央呈现 50 ms。箭头线索消失 900 ms 后，包含箭头线索以及彩色环的探测阵列出现。在短间隔无线索条件以及长间隔无线索条件中，在记忆阵列消失后到探测阵列出现前都不会有箭头线索出现。在短间隔无线索条件下，探测阵列在记忆阵列消失 450 ms 后出现，而在长间隔无线索条件下，探测阵列在记忆阵列消失 1400 ms 后出现。被试需要在探测阵列出现时对箭头所指位置的色块颜色进行回忆，并通过鼠标在颜色圆环中选择与目标项目相同的颜色。在被试做出反应后，会出现反馈告知被试所选择的颜色与实际记忆颜色的偏差值。任务指导语要求被试确保反应准确度而不是反应速度。新试次在每个试次结束 900~1000 ms 后出现。

每个实验条件包含 120 个试次，共 360 个试次。不同条件随机混合呈现。被试每完成 120 个试次有至少 30 s 的休息时间。在正式实验开始前被试需要进行至少 16 个练习试次以保证其对实验任务有充分清晰的理解。整个实验耗时约 30 分钟。

2.1.4 数据分析

每个试次中，被试所报告的颜色角度和记忆阵列中呈现的刺激颜色角度都被记录。通过 MemToolbox (Suchow, Brady, Fougnie, & Alvarez, 2013)，我们使用标准最大似然估计法(standard maximum-likelihood methods)将被试的反应结果与由 Bays 等人(2009)提出的 Swap 模型进行拟合。Swap 模型认为，被试的反应结果实际上是 3 种类型试次反应结果的混合：第一种类型试次是被试并没有将记忆目标巩固到视觉工作记忆中，因此他们将进行猜测反应，此类型试次的反应结果符合一个均匀分布(uniform distribution)；第二种类型试次是记忆目标虽然被巩固进入视觉工作记忆中，但被试将对一个包含噪音的正确目标表征进行回忆报告，此类型试次的反应结果符合一个以目标颜色值为中心的冯·米塞斯分布(von Mises distribution，即循环正态分布)；第三种类型试次是被试错误地将记忆中的非目标表征进行了报告，这使得这类型试次的反应结果符合一个以非目标方块颜色值为中心的冯·米塞斯分布。该模型的函数表达式如下：

$$p(\hat{\theta})=(1-\gamma-\beta)\Phi_{\sigma}(\hat{\theta}-\theta)+\gamma\frac{1}{2\pi}+\beta\frac{1}{m}\sum_{i}^{m}\Phi_{\sigma}(\hat{\theta}-\theta_{i}^{*})$$

其中，θ 代表目标刺激的颜色角度，$\hat{\theta}$ 代表实际报告颜色角度，γ 代表反应中猜测反应比率，Φ_{σ} 代表以 σ 为标准差的冯·米塞斯分布，β 代表错误报告的比率，$\{\theta_1^*,\theta_2^*,\cdots,\theta_m^*\}$ 为非目标刺激的颜色角度。对被试的反应结果进行 Swap 模型拟合后，将

拟合结果中所获得的函数进行整合，可以获得 4 个能够反映被试记忆数量和精度的指标。这 4 个指标分别是 *SD*、P_g、P_b 和 P_t。*SD* 将作为反映被试记忆精度的指标，它是冯·米塞斯分布的标准差，当 *SD* 越小时，被试的反应分布越密集，即记忆精度越高，因此 *SD* 与被试记忆精度呈反相关。P_g、P_b 和 P_t 将作为反映被试记忆数量的指标，其中 P_g 反映了被试进行猜测反应的概率；P_b 反映了被试错误报告非目标刺激的概率(记忆混淆率)；P_t 反映了被试对目标刺激记忆后并进行正确反应的概率。综上，本研究将对 *SD* (记忆精度$^{-1}$)、P_g (反应猜测率)、P_b (混淆率)和 P_t (正确报告率)，这 4 个关键因变量进行统计分析。

2.2　结果与讨论

被试在各条件下的记忆精度参数(*SD*)、猜测率(P_g)、混淆率(P_b)以及正确报告率(P_t)的结果如图 2 所示。分别对这 4 个因变量进行单因素(实验条件：正常线索条件，短间隔无线索条件，长间隔无线索条件)重复测量方差分析，结果显示对于 *SD* (记忆精度$^{-1}$)，实验条件存在主效应，$F(2, 38) = 4.26$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.18$。正常线索条件下的 *SD* 显著低于短间隔无线索条件($t(19) = 2.11$, $p = 0.048$, 95% CI = [−4.50, −0.02], Cohen's $d = 2.94$)和长间隔无线索条件($t(19) = 3.29$, $p = 0.004$, 95% CI = [−5.89, −1.31], Cohen's $d = 3.44$)，但短间隔无线索条件和长间隔无线索条件的 *SD* 不存在显著差异, $t(19) = 0.88$, $p = 0.391$, 95% CI = [−4.51, −1.85]。结果说明，被试在正常线索条件下的记忆精度显著高于短间隔无线索条件和长间隔无线索条件的记忆精度，但短间隔无线索条件和长间隔无线索条件的记忆精度没有显著差异。

实验条件对于 P_b (混淆率)存在主效应, $F(2, 38) = 6.00$, $p = 0.005$, $\eta^2 = 0.24$。正常线索条件的 P_b 显著低于短间隔无线索条件($t(19) = 3.49$, $p = 0.002$, 95% CI = [−0.09, −0.02], Cohen's $d = 4.84$)和长间隔无线索条件($t(19) = 3.26$, $p = 0.004$, 95% CI = [−0.09, −0.02], Cohen's $d = 3.97$)。短间隔无线索条件 P_b 与长间隔无线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(19) = 0.17$, $p = 0.867$, 95% CI = [−0.05, 0.04]。

实验条件对于 P_g (猜测率)存在主效应, $F(2, 38) = 22.92$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.55$，正常线索的 P_g 显著低于短间隔无线索条件($t(19) = 5.22$, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.23, −0.10], Cohen's $d = 5.86$)和长间隔无线索条件($t(19) = 6.22$, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.28, −0.14], Cohen's $d = 7.58$)。短间隔无线索条件 P_g 与长间隔无线索条件 P_g 不存在显著差异, $t(19) = 1.44$, $p = 0.166$, 95% CI = [−0.12, 0.02]。

实验条件对于 P_t(正确反映率)存在主效应, $F(2, 38) = 43.54$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.70$，正常线索的 P_t 显著高于短间隔无线索条件($t(19) = 6.87$, $p < 0.001$,

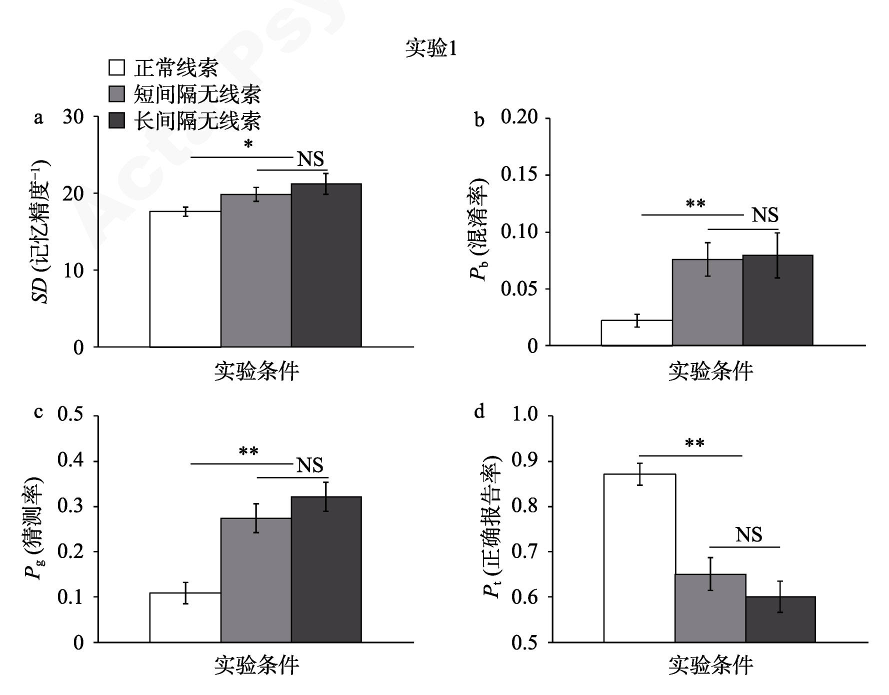


图 2　实验 1 结果。分别是正常线索条件、短间隔无线索条件以及长间隔无线索条件的 *SD* 值(记忆精度$^{-1}$) (图 a)、P_b (混淆率) (图 b)、P_g (猜测率) (图 c)以及 P_t (正确报告率) (图 d)的结果。柱状图误差线代表了该条件下均值的标准误。"NS"表示 $p > 0.05$, "*" 表示 $p < 0.05$, "**" 表示 $p < 0.01$。

95% CI = [0.15, 0.29], Cohen's d = 1.60)和长间隔无线索条件($t(19)$ = 7.95, p < 0.001, 95% CI = [0.20, 0.34], Cohen's d = 2.03)。短间隔无线索条件 P_t 与长间隔无线索条件 P_t 不存在显著差异, $t(19)$ = 1.94, p = 0.067, 95% CI = [−0.003, 0.10]。

结果显示, 短间隔无线索条件与长间隔无线索条件无论是记忆精度、记忆混淆率、记忆猜测率以及正确报告率均不存在显著差异, 而正常线索条件的行为表现在这四方面均优于短间隔无线索条件与长间隔无线索条件。这说明了即便不存在探测阵列的视觉干扰(或者探测干扰最小化), 被试依然能够利用内源线索获得稳健的回溯线索效应, 因此防止探测干扰假设无法对本实验的回溯线索效应进行解释。此外, 实验 1 发现正常线索条件记忆表现显著优于短间隔无线索条件, 该结果也拒绝了目标记忆强化假设、非目标记忆遗忘假设以及保护记忆衰退假设, 理由如下: 根据目标记忆强化假设和非目标记忆遗忘假设, 回溯线索效应是单纯通过线索强化或者遗忘起效的, 被试在短间隔无线索条件下依然可以利用伴随彩色环呈现的内源性线索对目标表征进行增强或者对非目标表征进行遗忘(在短间隔无线索条件与正常线索条件下, 被试所接触线索的时间是一致的), 那么无论是正常线索条件还是短间隔无线索条件, 被试应该均能利用内源性线索获得记忆优势, 因此目标记忆强化假设和非目标记忆遗忘假设并无法对正常线索条件和短间隔无线索条件之间的差异进行解释。而对于保护记忆衰退假设, 由于在正常线索条件与短间隔无线索条件下, 记忆表征在内源性线索出现前所维持的时间是一致的(均为 650 ms), 但正常条件下被试需要在反应前对记忆表征维持时间(1600 ms)长于短间隔无线索条件下的时间(650 ms), 因此正常线索条件应导致更强的记忆衰退。然而, 实验 1 的结果显示正常线索条件相较于短间隔无线索条件的行为表现更优, 故而排除了保护记忆衰退假设。综上所述, 除了认知阶段分离假设外, 以往其他假设都无法对这种回溯线索效应进行解释。

基于对实验 1 结果的观察, 我们提出一个新的可能影响回溯线索效应的因素, 即伴随回溯线索同时出现的干扰刺激。与回溯线索同时出现的其他无关视觉信息可能会降低被试对回溯线索利用的效率(例如, 在短间隔无线索条件下, 回溯线索与彩色环同时呈现, 此时彩色环可视为与记忆维持无关的干扰刺激), 从而导致其行为表现受损; 而当回溯线索单独出现时(例如, 在正常线索条件下, 回溯线索出现时不存在其他无关视觉刺激), 被试可以对回溯线索进行最大化利用, 因此正常线索条件下的行为表现优于短间隔无线索条件。干扰刺激因素能够在认知阶段分离假设的基础上进一步对回溯线索效应的程度进行解释, 因此, 对干扰因素的探究能够加深我们对认知阶段分离假设的理解。

3 实验 2: 干扰刺激对回溯线索效应的影响

实验 2 将对认知阶段分离假设进一步核实, 并且检验干扰刺激因素对回溯线索效应的影响。实验 2 以短间隔无线索条件作为基线条件(无线索条件), 并对其他线索条件中线索出现时伴随的额外视觉信息(视觉干扰)进行控制, 额外的视觉信息包括无颜色的灰色环(不会触发决策加工的视觉干扰)以及与探测阵列中一致的彩色环(触发决策加工的视觉干扰)。其中, 灰色环作为与任务完全不相关的视觉干扰刺激, 其大小形状与彩色环完全一致。采用灰色环而不使用其他形式的视觉刺激作为干扰(例如在与记忆项目不同的位置上设置灰色方块作为干扰), 主要考虑到灰色环条件与其他条件(彩色环干扰条件与短间隔无干扰条件)的可比较性。灰色环和彩色环的出现都会使被试获得相同的视觉结构布局, 从而保证了这两种干扰刺激对注意焦点和视觉记忆表征中视觉结构布局内容的影响一致。此外, 实验 2 依然保留了正常线索条件, 通过正常线索条件与短间隔无线索条件进行对比, 可以在探究干扰刺激影响因素的基础上再次对认知阶段分离假设进行验证。

3.1 研究方法

3.1.1 被试

实验 2 采用与实验 1 同样的方法计算计划样本量。最终招募 21 名大学生本科生(年龄 18~22 岁, M = 18.7, SD = 0.91, 19 名女性)作为被试。被试皆无过往精神病史, 视力或矫正视力正常, 色觉正常。

3.1.2 实验程序

实验 2 的程序与实验 1 类似, 但去除了长间隔无线索条件, 并同时增加了两个新的线索条件(灰色环干扰线索条件、彩色环干扰线索条件), 实验流程如图 3 所示。在新增的线索条件中, 当记忆阵列消失 450 ms 后, 箭头线索会伴随一个灰色环(RGB 值: 166, 166, 166; 灰色环干扰线索条件)或者彩色环同时呈现(与探测阵列中的彩色环完全一致; 彩

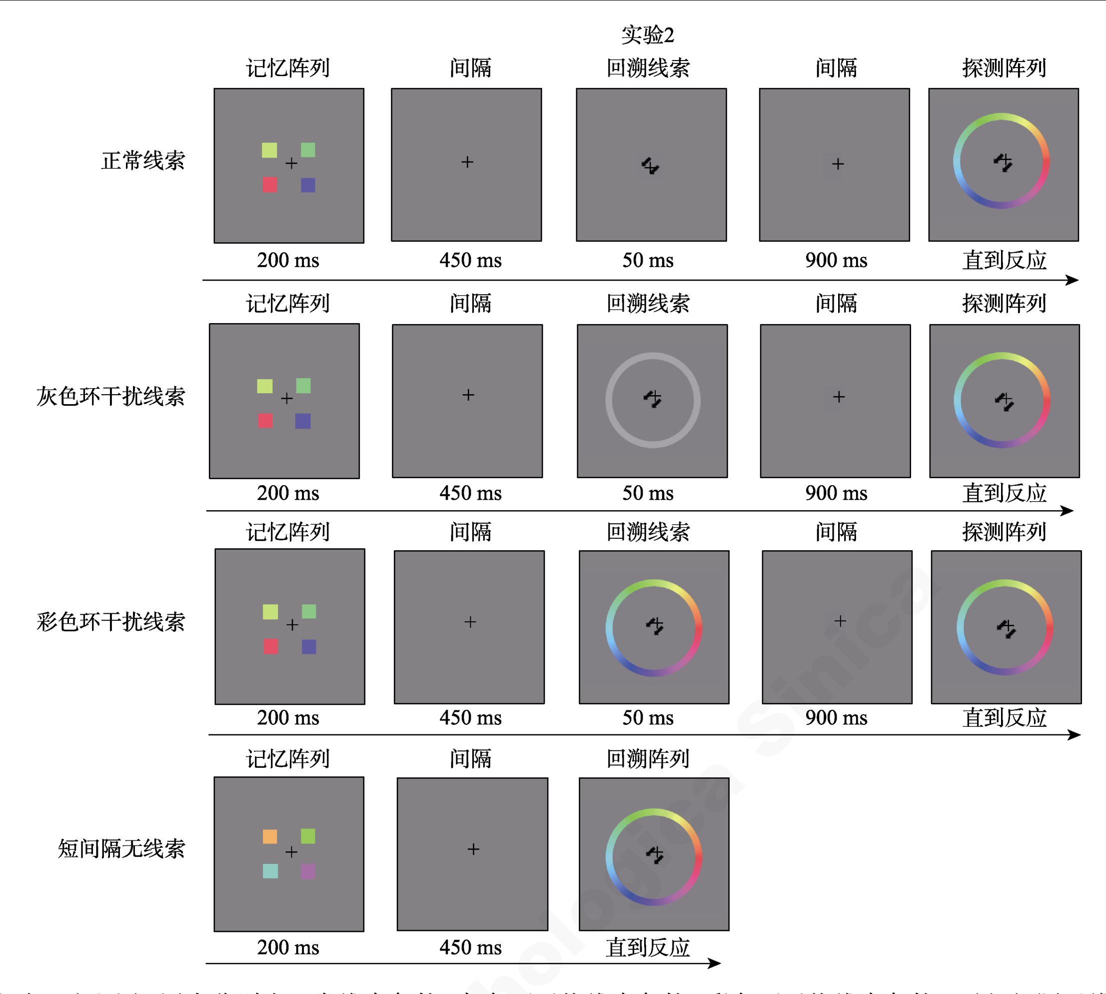


图 3　实验 2 流程图。图中分别为正常线索条件、灰色环干扰线索条件、彩色环干扰线索条件以及短间隔无线索条件。

色环干扰线索条件)。因此, 实验 2 共设置了 4 种条件: 正常线索条件、灰色环干扰线索条件、彩色环干扰线索条件和短间隔无线索条件。

每个实验条件包含 120 个试次, 共 480 个试次。不同条件随机混合呈现。被试每完成 120 个试次会有至少 30 s 的休息时间。在正式实验开始前被试需要进行至少 16 个练习试次以保证其对实验任务有充分清晰的理解。整个实验耗时大约 40 分钟。

3.1.3　数据分析

与实验 1 的数据分析方法一致。

3.2　结果

被试在各条件下的记忆精度参数(*SD*)、猜测率(P_g)、混淆率(P_b)以及正确报告率(P_t)的结果如图 4 所示。分别对这 4 个因变量进行单因素(实验条件: 正常线索条件, 灰色环干扰线索条件, 彩色环干扰线索条件, 短间隔无线索条件)重复测量方差分析, 结果显示对于 *SD* (记忆精度$^{-1}$), 实验条件不存在主效应, $F(3, 60) = 0.32$, $p = 0.809$。这说明了在不同条件下被试的记忆精度均不存在显著差异。

实验条件对于 P_b(混淆率)存在主效应, $F(3, 60) = 6.17$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.24$。其中正常线索条件 P_b 与灰色环干扰线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(20) = 0.46$, $p = 0.649$, 95% CI = [−0.01, 0.01]; 正常线索条件 P_b 和彩色环干扰线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(20) = 1.30$, $p = 0.208$, 95% CI = [−0.04, 0.01]; 正常线索条件 P_b 显著低于短间隔无线索条件 P_b, $t(20) = 3.38$, $p = 0.003$, 95% CI = [−0.07, −0.02], Cohen's $d = 3.83$; 灰色环干扰线索条件的 P_b 与彩色环干扰线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(20) = 1.58$, $p = 0.131$, 95% CI = [−0.04, 0.01]; 灰色环干扰线索条件的 P_b 显著低于短间隔无线索条件的 P_b, $t(20) = 3.41$, $p = 0.003$, 95% CI = [−0.08, −0.02], Cohen's $d = 4.09$; 彩色环干扰线索条件 P_b 与短间隔无线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(20) = 1.90$, $p = 0.072$, 95% CI = [−0.06, 0.002]。

实验条件对于 P_g (猜测率)存在显著主效应, $F(3, 60) = 52.14$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.72$。其中正常线索条件 P_g 显著低于灰色环干扰线索条件 P_g, $t(20) =$

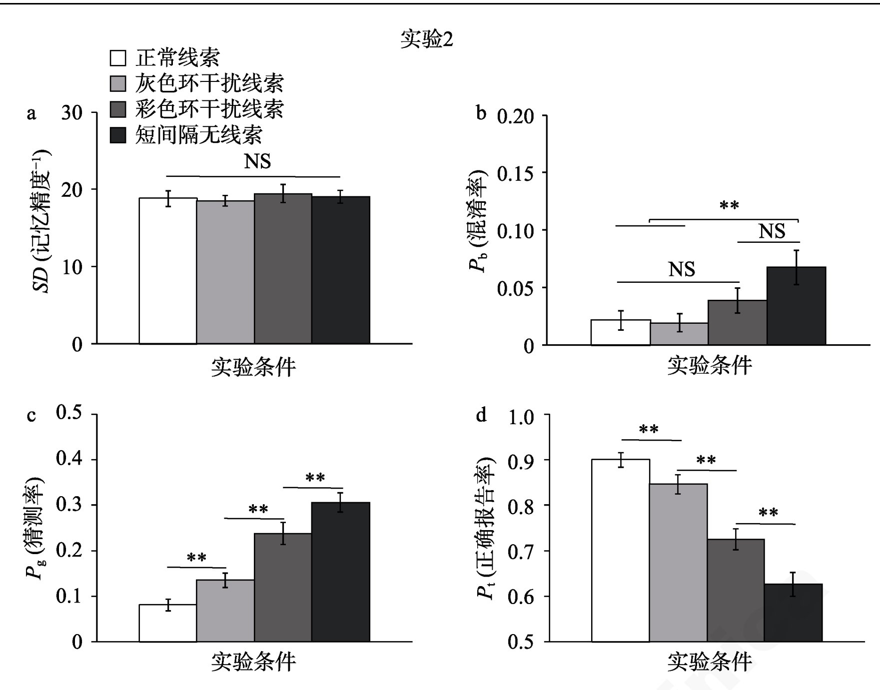


图 4 实验 2 结果。分别是正常线索条件、灰色环干扰线索条件、彩色环干扰线索条件以及短间隔无线索条件的 *SD* 值(记忆精度$^{-1}$) (图 a)、P_b(混淆率) (图 b)、P_g (猜测率) (图 c)以及 P_t(正确报告率) (图 d)的结果。柱状图误差线代表了该条件下均值的标准误。“NS”表示 $p > 0.05$, “**” 表示 $p < 0.01$。

4.38, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.08, −0.03], Cohen's d = 3.76; 灰色环干扰线索条件的 P_g 显著低于彩色环干扰线索条件 P_g, $t(20)$ = 5.09, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.14, −0.06], Cohen's d = 5.03; 彩色环干扰线索条件 P_g 显著低于短间隔无线索条件 P_g, $t(20)$ = 3.19, p = 0.005, 95% CI = [−0.11, −0.02], Cohen's d = 3.02。

实验条件对于 P_t(正确报告率)存在显著主效应, $F(3, 60) = 90.46$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.82$。其中正常线索条件 P_t 显著高于灰色环干扰线索条件 P_t, $t(20)$ = 4.11, $p < 0.001$, 95% CI = [0.03, 0.08], Cohen's d = 0.62; 灰色环干扰线索条件的 P_t 显著高于彩色环干扰线索条件 P_t, $t(20)$ = 7.69, $p < 0.001$, 95% CI = [0.09, 0.15], Cohen's d = 1.20; 彩色环干扰线索条件 P_t 显著高于短间隔无线索条件 P_t, $t(20)$ = 5.68, $p < 0.001$, 95% CI = [0.06, 0.13], Cohen's d = 0.67。

结果显示, 短间隔无线索条件记忆表现显著差于正常线索条件, 灰色环干扰线索条件和彩色环干扰线索条件, 这说明了 3 种线索条件均获得了回溯线索效应。其中, 正常线索条件的记忆精度虽然与短间隔线索条件没有差异, 但记忆混淆率和记忆猜测率均显著低于短间隔线索条件, 正确报告率显著高于短间隔线索条件, 该结果再次为认知阶段分离假设提供了证据, 并拒绝了其他 4 种解释回溯线索效应的假设。但与实验 1 结果不同的是, 实验 2 中的回溯线索效应并没有体现在记忆精度方面。这说明了回溯线索效应能够更稳定地反映在记忆数量参数上(体现在正确报告率、记忆混淆率以及记忆猜测率上)而并非记忆精度参数上。

灰色环干扰线索条件行为结果显著差于正常线索, 这说明了伴随线索出现的无关干扰刺激(灰色环)的确会削弱回溯线索效应, 并主要反映在数量参数的记忆混淆率、记忆猜测率以及正确报告率这三方面。而彩色环干扰线索条件行为结果介于灰色环线索条件和短间隔无线索条件之间, 说明了伴随线索呈现的任务相关干扰刺激比无关干扰刺激对回溯线索效应有更强的削弱作用, 具体体现在相比伴随线索呈现的灰色环刺激干扰, 彩色环刺激干扰会进一步降低正确报告率和增加猜测率。

将干扰刺激因素与认知阶段分离假设相结合能够对实验 2 的结果有更好的理解。认知阶段分离假设, 能够解释正常线索条件与短间隔无线索条件的结果差异。而在彩色环干扰线索条件下, 由于回溯线索出现时会短暂触发被试的决策阶段加工, 这可能是导致该条件中回溯线索效应程度较低的原因。此外, 当无关刺激的物理特征越明显时, 对被试利用线索的干扰影响可能越大, 而彩色环物理特征明显于灰色环, 因此干扰刺激因素能够解释为何回溯线索效应在正常线索条件、灰色环干扰线索条件、彩色环干扰线索条件这 3 种条件下逐渐减弱。

据此, 结合干扰因素与认知阶段分离假设, 实验 2 回溯线索效应的结果能够被解释为, 回溯线索效应是由被试利用回溯线索将认知阶段进行分离后最终获得的优势, 而被试对线索的利用效率决定了被试所获得优势的程度。

4　实验 3：干扰刺激呈现时间对回溯线索效应的影响

在实验 2 的彩色环干扰线索条件下, 彩色环和回溯线索的呈现时间只有 50 ms, 而短间隔无线索条件下彩色环和内源性线索会持续呈现直至被试进行反应。彩色环干扰线索条件下的行为表现优于短间隔无线索条件, 这暗示了彩色环和线索的持续呈现可能会损害记忆行为表现。因此, 在干扰刺激因素中, 干扰刺激呈现的时间长度可能会对回溯线索效应造成影响。

实验 3 中, 我们将考察伴随线索出现的干扰刺激的呈现时间对回溯线索效应的影响。由于实验 2 中的彩色环干扰刺激会触发认知决策加工, 为了排除这种影响, 实验 3 中将只采用灰色环这种不会触发额外决策加工的刺激作为视觉干扰刺激(实验 2 正常线索条件和灰色环干扰线索条件的差异结果证明了灰色环是能够有效影响回溯线索利用效果的干扰刺激)。

在实验 3 中, 我们将灰色环干扰线索条件作为线索条件的基线, 将短间隔无线索条件作为无线索条件的基线, 并对干扰刺激和回溯线索的呈现时间进行控制, 增加两种新的灰色环干扰线索条件(长灰色环短线索条件, 长灰色环长线索条件)。虽然实验 2 的结果显示回溯线索的设置有效(存在回溯线索效应), 但由于回溯线索呈现时间较短, 可能会增加被试对线索加工的难度, 或导致额外的干扰(例如闪烁)。因此, 在实验 3 中我们稍微延长了线索条件下回溯线索所呈现的最短时间(由 50 ms 延长至 100 ms)。在新增的长灰色环长线索条件中, 内源性线索将持续呈现 1000 ms 至探测阵列出现。将长灰色环长线索条件与其他条件进行比较, 可以考察回溯线索呈现时间对回溯线索效应的影响。此外, 在新增的长灰色环短线索条件中, 回溯线索呈现时间(100 ms)与灰色环干扰线索条件(基线)时间一致, 但灰色环的呈现时间仍为 1000 ms。该条件的设置能够考察灰色环的呈现时间对回溯线索效应的影响(即视觉干扰刺激呈现时间对回溯线索效应的影响)。通过这两个新增的条件, 我们将能够分别考察回溯线索与视觉干扰刺激的呈现时间对回溯线索效应的影响。

4.1　研究方法

4.1.1　被试

实验 3 采用与实验 1 同样的方法计算计划样本量。最终招募 20 名大学生本科生(年龄 18~22 岁, M = 19.7, SD = 1.38, 16 名女性)作为被试。被试皆无过往精神病史, 视力或矫正视力正常, 色觉正常。

4.1.2　实验程序

实验 3 的程序与实验 2 类似, 但增加了两个新条件(长灰色环短线索条件, 长灰色环长线索条件), 同时去除了实验 2 中的正常线索条件和彩色环干扰线索条件, 实验流程如图 5 所示。实验 3 设置了 4 种条件：灰色环干扰线索条件(灰色环与线索同时呈现 100 ms)、长灰色环短线索条件(灰色环呈现 1000 ms, 线索呈现 100 ms)、长灰色环长线索条件(灰色环与线索同时呈现 1000 ms)和短间隔无线索条件。另外, 灰色环干扰线索条件和短间隔无线索条件流程与实验 2 一致, 但记忆阵列与线索首次出现的时间间隔从 450 ms 延长至 500 ms, 并且将回溯线索的最短呈现时间从 50 ms 延长至 100 ms。每个实验条件包含 120 个试次, 共 480 个试次。不同条件随机混合呈现。被试每完成 120 个试次会有至少 30 s 的休息时间。在正式实验开始前被试需要进行至少 16 个练习试次以保证其对实验任务有充分清晰的理解。整个实验耗时大约 40 分钟。

4.1.3　数据分析

与实验 1 和实验 2 的数据分析方法一致。

4.2　结果

被试在各条件下的记忆精度参数(SD)、猜测率(P_g)、混淆率(P_b)以及正确报告率(P_t)的结果如图 6 所示。分别对这 4 个因变量进行单因素(实验条件：灰色环干扰线索条件、长灰色环短线索条件、长灰色环长线索条件、短间隔无线索条件)重复测量方差分析, 结果显示对于 SD (记忆精度$^{-1}$), 实验条件不存在主效应, $F(3, 57) = 1.68$, $p = 0.181$。这说明了在不同条件下被试的记忆精度没有显著差异。

对于 P_b (混淆率), 实验条件存在主效应, $F(3, 57) = 22.62$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.54$。结果显示短间隔无线索条件 P_b 显著高于灰色环干扰线索条件 P_b ($t(19) = 4.88$, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.12, −0.05], Cohen's $d = 6.83$)、长灰色环短线索条件 P_b ($t(19) = 7.30$, $p <$ 0.001, 95% CI = [−0.11, −0.06], Cohen's $d = 7.37$)、长灰色环长线索条件 P_b ($t(19) = 5.21$, $p < 0.001$, 95%

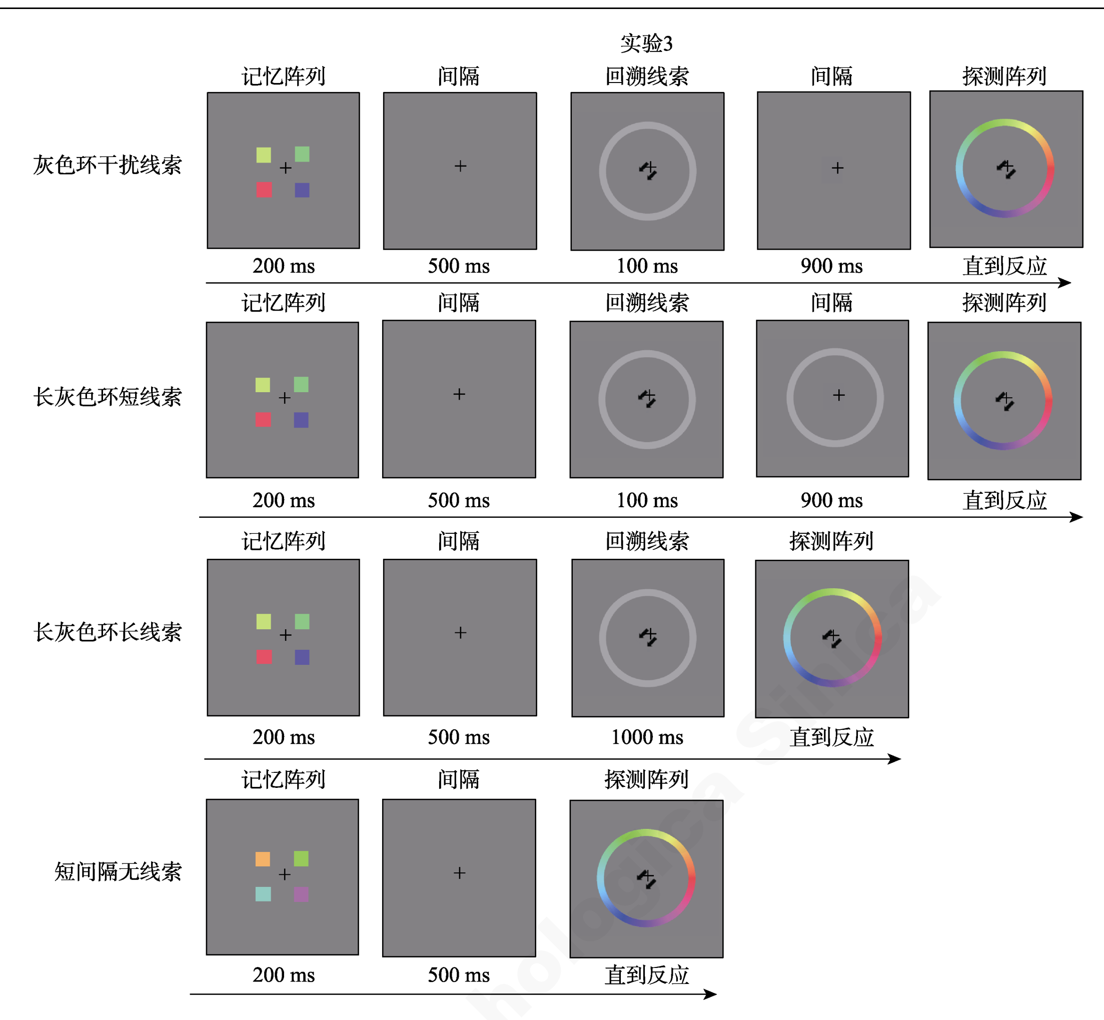


图 5 实验 3 流程图

注：图中分别为灰色环干扰线索条件、长灰色环短线索条件、长灰色环长线索条件以及短间隔无线索条件。

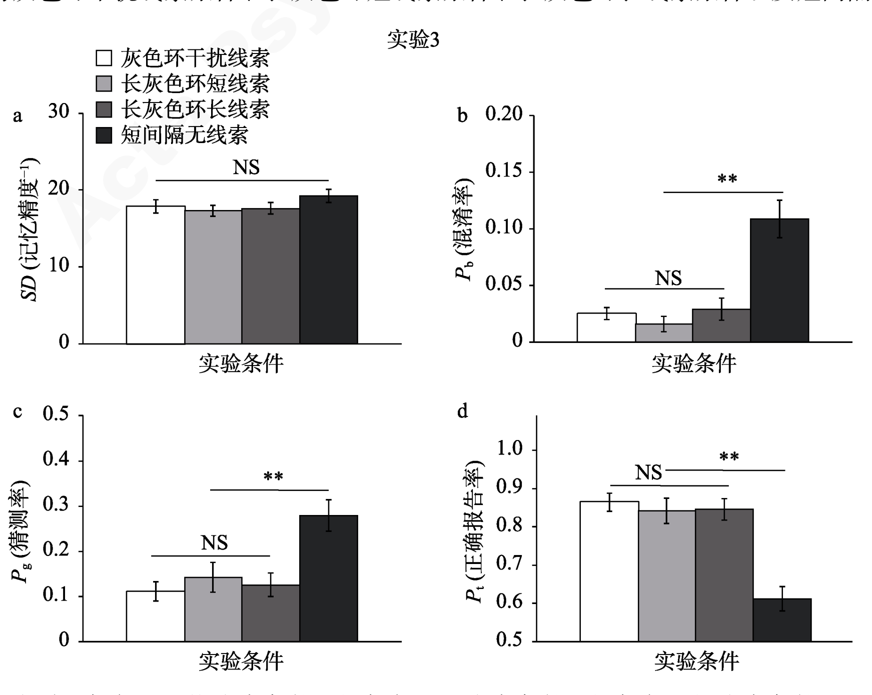


图 6 实验 3 结果。分别是灰色环干扰线索条件、长灰色环短线索条件、长灰色环长线索条件以及短间隔无线索条件的 *SD* 值(记忆精度$^{-1}$) (图 a)、P_b (混淆率) (图 b)、P_g (猜测率) (图 c)以及 P_t (正确报告率) (图 d)的结果。柱状图误差线代表了该条件下均值的标准误。“NS”表示 $p > 0.05$, “**” 表示 $p < 0.01$。

CI = [−0.11, −0.05], Cohen's d = 5.91)。灰色环干扰线索条件 P_b 与长灰色环短线索条件 P_b 没有显著差异, $t(19) = 1.10$, $p = 0.285$, 95% CI = [−0.01, 0.03]; 灰色环干扰线索条件 P_b 与长灰色环长线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(19) = 0.35$, $p = 0.727$, 95% CI = [−0.03, 0.02]; 长灰色环短线索条件 P_b 与长灰色环长线索条件 P_b 不存在显著差异, $t(19) = 1.28$, $p = 0.215$, 95% CI = [−0.03, 0.01]。

对于 P_g (猜测率), 实验条件存在主效应, $F(3, 57) = 27.49$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.59$。结果显示短间隔无线索条件 P_g 显著高于灰色环干扰线索条件 P_g ($t(19) = 8.44$, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.20, −0.13], Cohen's $d = 5.83$)、长灰色环短线索条件 P_g ($t(19) = 5.47$, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.19, −0.08], Cohen's $d = 4.04$)、长灰色环长线索条件 P_g ($t(19) = 6.55$, $p < 0.001$, 95% CI = [−0.20, −0.10], Cohen's $d = 4.96$)。灰色环干扰线索条件 P_g 与长灰色环短线索条件 P_g 没有显著差异, $t(19) = 1.92$, $p = 0.070$, 95% CI = [−0.07, 0.002]; 灰色环干扰线索条件 P_g 与长灰色环长线索条件 P_g 没有显著差异, $t(19) = 0.92$, $p = 0.367$, 95% CI = [−0.05, 0.02]; 长灰色环短线索条件 P_g 与长灰色环长线索条件 P_g 不存在显著差异, $t(19) = 0.71$, $p = 0.485$, 95% CI = [−0.03, 0.06]。

对于 P_t (正确反应率), 实验条件存在主效应, $F(3, 57) = 83.45$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.82$。结果显示短间隔无线索条件 P_t 显著低于灰色环干扰线索条件 P_t ($t(19) = 13.57$, $p < 0.001$, 95% CI = [0.21, 0.29], Cohen's $d = 2.04$)、长灰色环短线索条件 P_t ($t(19) = 10.60$, $p < 0.001$, 95% CI = [0.02, 0.18], Cohen's $d = 1.60$)、长灰色环长线索条件 P_t ($t(19) = 11.09$, $p < 0.001$, 95% CI = [0.19, 0.28], Cohen's $d = 1.76$)。灰色环干扰线索条件 P_t 与长灰色环短线索条件 P_t 不存在显著差异, $t(19) = 1.32$, $p = 0.204$, 95% CI = [−0.01, 0.06]; 灰色环干扰线索条件 P_t 与长灰色环长线索条件 P_t 没有显著差异, $t(19) = 1.43$, $p = 0.169$, 95% CI = [−0.01, 0.05]; 长灰色环短线索条件 P_t 与长灰色环长线索条件 P_t 不存在显著差异, $t(19) = 0.19$, $p = 0.855$, 95% CI = [−0.04, 0.04]。

结果显示, 灰色环干扰线索条件, 长灰色环短线索条件和长灰色环长线索条件在行为表现上不存在显著差异, 且均显著优于短间隔无线索条件。这说明了无论灰色环的呈现时间长短, 被试都能获得一致的回溯线索效应, 而这种效应在记忆数量参数的记忆混淆率、记忆猜测率和正确报告率三方面均能体现。实验 3 中灰色环干扰线索条件与短间隔无线索条件的结果差异模式与实验 2 中的结果一致, 也再次为认知阶段分离假设提供了证据, 并拒绝了其余 4 种解释回溯线索效应的假设。

值得注意的是, 长灰色环短线索条件(1000 ms 灰色环和 100 ms 回溯线索)与长灰色环长线索条件(1000 ms 灰色环和 1000 ms 回溯线索)在结果记忆数量指标和记忆精度指标上均不存在显著差异, 说明回溯线索呈现时间的长度并不会对回溯线索效应产生显著影响。这表明了在本研究的回溯线索条件下, 内源性线索的短时呈现(实验 1 和 2 为 50 ms, 实验 3 为 100 ms)并不会导致额外的干扰削弱回溯线索效应。

此外, 长灰色环短线索条件(1000 ms 灰色环和 100 ms 回溯线索)与灰色环干扰线索条件(100 ms 灰色环和 100 ms 回溯线索)在结果指标的各方面参数上均不存在显著差异, 这显示了任务无关干扰刺激的呈现时间并不会对回溯线索效应产生显著影响。结合实验 2 的结果, 我们可以推论出伴随线索出现的灰色环干扰刺激的确会削弱回溯线索效应, 但影响的程度并不取决于干扰本身的持续呈现时间。因此, 虽然我们实验中没有设置独立的有干扰无线索条件去探究记忆维持阶段视觉干扰的呈现对记忆维持本身的影响, 但就目前的实验结果来看, 视觉干扰刺激对回溯线索效应的影响并不是源于干扰刺激呈现本身, 而是在于干扰刺激是否伴随回溯线索同时呈现。

实验 3 结果表明伴随线索出现的干扰刺激呈现时间长短并不会对回溯线索效应的程度造成影响, 因此实验 2 中彩色环干扰线索条件与短间隔无线索条件的结果差别应该不是由干扰刺激的时间差异导致的。综上, 在考虑干扰刺激因素对回溯线索效应作用的前提下, 认知阶段分离假设是目前为止对回溯线索效应最合理的解释, 而影响回溯线索利用率可能是源于干扰刺激的任务相关属性和物理特征属性, 而非其呈现时间。

5　总讨论

本研究对视觉工作记忆回溯线索效应的产生机制进行了探究。通过 3 个实验, 我们对以往解释回溯线索效应产生机制的假设进行了检验。在 3 个实验中, 我们都观察到了稳健的回溯线索效应。在实验 1 中, 我们发现了正常线索条件的记忆表现在记忆精度、记忆混淆率、记忆猜测率及正确报告率

四方面都显著优于短间隔无线索条件，由于短间隔无线索条件的探测阵列呈现时间与正常线索条件中线索呈现条件一致，因此，该回溯线索效应符合认知阶段分离假设，且无法被其他假设所解释。此外，根据实验 1 结果，我们提出了一种可能影响回溯线索效应的因素——伴随回溯线索同时出现的干扰刺激，并在实验 2 和实验 3 中对认知阶段分离假设进一步核实的同时，考察了干扰刺激因素对回溯线索效应的作用。在实验 2 中，我们通过对伴随回溯线索出现的视觉干扰刺激进行控制，发现认知阶段分离假设能够结合干扰刺激因素共同对回溯线索效应结果进行解释。回溯线索效应的产生机制是由于认知阶段分离，而干扰刺激因素会影响被试对回溯线索的利用率，进而影响被试获得回溯线索效应的程度。在实验 3 中，我们对线索与干扰的呈现时间进行控制，发现回溯线索与干扰刺激的呈现时间并不会影响回溯线索效应的程度。此外，本研究采用回忆报告范式，发现了回溯线索效应对记忆成绩的促进主要表现在记忆数量参数的提升(混淆率和猜测率显著下降，正确报告率显著提升)，而并非记忆精度参数的改善，符合前人研究结果(Ye et al., 2016)。综合本研究的 3 个实验，认知阶段分离假设是对本研究中回溯线索效应的产生机制最合理的解释假设，而干扰刺激因素对回溯线索效应的作用则反映了个体获得回溯线索效应的程度与线索利用率相关。

认知阶段分离假设是一个新近被提出用于解释回溯线索效应的假设。根据我们的知识，在 Ye 等人(2016)研究讨论部分提出该假设后(在他们的研究中并未系统对此假设进行验证，而只是提出这种可能的解释)，本研究是首个对认知阶段分离假设与其他 4 种相关假设进行对比检验的研究。至少在当前的实验设定中，本研究的证据支持了认知阶段分离是解释回溯线索效应最合理的假设。因此，未来的研究可以以认知阶段分离假设作为理论基础，进一步探索内部注意与视觉工作记忆系统的关系。

在本研究中，我们还探讨了伴随回溯线索同时出现的干扰刺激对回溯线索利用效率的影响，该干扰因素可以进一步丰富认知阶段分离假设对回溯线索效应的解释。即回溯线索效应产生于认知阶段的分离，但回溯线索效应的程度受到了个体对线索利用效果的影响，当线索伴随其他视觉信息干扰出现，不同类型的干扰刺激会对线索的利用效果造成不同程度的削弱。值得注意的是，伴随回溯线索出现的干扰刺激未必只会对个体对回溯线索利用的程度造成损害。例如，最近有研究显示，如果在记忆维持阶段，向被试呈现一个与任务无关的中性面孔，即便中性面孔与记忆任务无关，但面孔中眼睛的指向会提高被试对眼睛指向一侧的目标的记忆表现，即使眼睛指向线索无法对被试所需要报告的目标进行预测。有趣的是，当研究者将这种线索替换成物理属性类似但不具备社会意义的线索时，相应的记忆表现优势即消失(Nie, Ding, Chen, & Conci, 2018)。在该研究中，面孔可以被视为伴随干扰刺激的回溯线索(干扰刺激为面孔，线索为眼睛朝向)，这种存在社会属性的干扰刺激不但没有损害被试对线索的利用，相反会自发性地增加对于线索的利用程度，将内部注意转移到与线索相关一侧的记忆内容中。综上，对伴随回溯线索同时出现的干扰刺激因素的考察，能有助于进一步完善回溯线索效应相关结果的解释，从而让我们更好地理解视觉工作记忆与内部注意的关系。

另外，本研究结果表明，伴随线索呈现的干扰刺激主要影响了被试对于回溯线索的利用效率，而并非对记忆表征内容的损害。因此，一个与视觉工作记忆系统更加相关的问题是工作记忆中的干扰效应，即在工作记忆保持阶段，如果任务无关刺激出现，是否会对记忆内容本身造成损害？Vogel, Woodman 和 Luck (2006)等人采用视觉掩蔽作为任务无关刺激，并对掩蔽的呈现时间进行控制，结果发现干扰刺激呈现的时程会对记忆表征的保持造成影响，例如当被试需要对 4 个色块进行记忆，那至少在记忆刺激呈现 200 ms 后，视觉掩蔽对记忆表征本身的干扰才会逐渐降到最低。然而，根据认知阶段分离假设，内部注意加工和决策加工间隔的时程也会对回溯线索效应程度产生影响。最近研究显示，在回溯线索呈现后，探测阵列呈现的间隔时程在 147 ms 时开始产生记忆优势(Tanoue & Berryhill, 2012)，当间隔达到至少 400 ms 时才会使回溯线索效应达到最优(Schneider, Mertes, & Wascher, 2016)。如果将工作记忆保持阶段的干扰效应与回溯线索效应主题进行结合，我们可以提出一个新的疑问，即在被试将内部注意加工和决策加工进行分离的期间(回溯线索出现后到探测任务出现前)，干扰刺激的出现是否会对个体的记忆内容本身造成影响，而干扰刺激在该阶段不同的时程出现又是否会对其产生影响。通过对以上问题设计实验并进行研究，

将有助于我们进一步深化对回溯线索效应以及认知阶段分离假设的理解。未来研究可以采用与本研究类似的实验范式，对以上问题进行考察。

值得注意的是，虽然本研究获得了支持认知阶段分离假设并拒绝其他假设的证据，但并不代表认知阶段分离假设是产生回溯线索效应的唯一机制。实际上，在不同的实验设计中，回溯线索效应可能源于不同假设的共同作用结果。例如，本研究中主要使用短间隔无线索的条件作为基线条件，使得研究中可以不考虑在无线索条件下个体由于维持时间较长所导致的记忆衰退。通过使用回忆报告范式最小化探测阵列中包含的视觉干扰覆盖。利用百分百有效的回溯线索免除了被试需要考虑在非目标记忆项目上资源分配权重的问题。而当以上这些因素无法被排除时，对于回溯线索效应的其他假设也可能与认知阶段分离假设同时对结果进行解释。

6　结论

本研究利用伴随回溯线索的回忆报告范式，对视觉工作记忆回溯线索效应的产生机制进行探究。实验结果支持了认知阶段分离假设，即个体通过利用回溯线索，将内部注意转移加工与决策加工相分离，避免了在资源竞争时对记忆表征造成的损耗。回溯线索效应对记忆表现的促进主要体现在记忆数量方面而非记忆精度方面。另外，个体对于线索的利用率会影响回溯线索效应的程度。本研究对解决回溯线索效应产生机制的争议以及理解内部注意与视觉工作记忆的关系有重要意义。

参　考　文　献

Bays, P. M., Catalao, R. F. G., & Husain, M. (2009). The precision of visual working memory is set by allocation of a shared resource. *Journal of Vision, 9*(10), 7.

Chun, M. M., Golomb, J. D., & Turk-Browne, N. B. (2011). A taxonomy of external and internal attention. *Annual Review of Psychology, 62*, 73–101.

Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2009). Human variation in overriding attentional capture. *Journal of Neuroscience, 29*(27), 8726–8733.

Griffin, I. C., & Nobre, A. C. (2003). Orienting attention to locations in internal representations. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*, 1176–1194.

Hitch, G. J., Allen, R. J., & Baddeley, A. D. (2019). Attention and binding in visual working memory: Two forms of attention and two kinds of buffer storage. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *81*, 1–14.

Hollingworth, A., Richard, A. M., & Luck, S. J. (2008). Understanding the function of visual short-term memory: Transsaccadic memory, object correspondence, and gaze correction. *Journal of Experimental Psychology: General, 137*(1), 163–181.

Irwin, D. E. (1991). Information integration across saccadic eye movements. *Cognitive Psychology, 23*(3), 420–456.

Kuo, B.-C., Stokes, M. G., & Nobre, A. C. (2012). Attention modulates maintenance of representations in visual short-term memory. *Journal of Cognitive Neuroscience, 24*(1), 51–60.

Liang, T. F., Wu, H. Y., Zhang, Y., Long, F. F., Chen, J. T., Hu, Z. H., & Liu, Q. (2018). Attentional selection in the perceptual scenes and internal working memory representations: A unitized perspective. *Advances in Psychological Science, 26*(4), 625–635.

[梁腾飞, 吴海燕, 张引, 龙芳芳, 陈江涛, 胡中华, 刘强. (2018). 知觉场景与工作记忆表征中的注意选择：一个统一的视角. *心理科学进展, 26*(4), 625–635.]

Luck, S. J., & Vogel, E. K. (2013). Visual working memory capacity: from psychophysics and neurobiology to individual differences. *Trends in Cognitive Sciences, 17*(8), 391–400.

Makovski, T., & Jiang, Y. V. (2007). Distributing versus focusing attention in visual short-term memory. *Psychonomic Bulletin & Review, 14*(6), 1072–1078.

Makovski, T., & Jiang, Y. V. (2008). Proactive interference from items previously stored in visual working memory. *Memory & Cognition, 36*(1), 43–52.

Makovski, T., & Pertzov, Y. (2015). Attention and memory protection: Interactions between retrospective attention cueing and interference. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 68*(9), 1735–1743.

Matsukura, M., Luck, S. J., & Vecera, S. P. (2007). Attention effects during visual short-term memory maintenance: Protection or prioritization? *Percept Psychophys, 69*(8), 1422–1434.

Nie, Q.-Y., Ding, X. W., Chen, J. Y., & Conci, M. (2018). Social attention directs working memory maintenance. *Cognition, 171*, 85–94.

Nie, Q.-Y., Müller, H. J., & Conci, M. (2017). Hierarchical organization in visual working memory: From global ensemble to individual object structure. *Cognition, 159*, 85–96.

Oberauer, K. (2019). Working memory and attention – A conceptual analysis and review. *Journal of Cognition, 2*(1), 36.

Pertzov, Y., Bays, P. M., Joseph, S., & Husain, M. (2013). Rapid forgetting prevented by retrospective attention cues. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 39*(5), 1224–1231.

Rerko, L., & Oberauer, K. (2013). Focused, unfocused, and defocused information in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*(4), 1075–1096.

Schneider, D., Mertes, C., & Wascher, E. (2016). The time course of visuo-spatial working memory updating revealed by a retro-cuing paradigm. *Scientific Reports*, *6*, 21442.

Souza, A. S., & Oberauer, K. (2016). In search of the focus of attention in working memory: 13 years of the retro-cue effect. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *78*(7), 1839–1860.

Souza, A. S., Rerko, L., Lin, H.-Y., & Oberauer, K. (2014). Focused attention improves working memory: implications for flexible-resource and discrete-capacity models. *Attention, Perception, & Psychophysics, 76*(7), 2080–2102.

Souza, A. S., Rerko, L., & Oberauer, K. (2014). Unloading and reloading working memory: Attending to one item frees capacity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(3), 1237–1256.

Suchow, J. W., Brady, T. F., Fougnie, D., & Alvarez, G. A. (2013). Modeling visual working memory with the

MemToolbox. *Journal of Vision, 13*(10), 9.
Tanoue, R. T., & Berryhill, M. E. (2012). The mental wormhole: internal attention shifts without regard for distance. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(6), 1199–1215.
Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*(6), 1436–1451.
Williams, M., Hong, S. W., Kang, M.-S., Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2013). The benefit of forgetting. *Psychonomic Bulletin & Review, 20*(2), 348–355.
Ye, C. X., Hu, Z. H., Ristaniemi, T., Gendron, M., & Liu, Q. (2016). Retro-dimension-cue benefit in visual working memory. *Scientific Reports, 6*, 35573.
Ye, C. X., Sun, H. J., Xu, Q. R., Liang, T. F., Zhang, Y., & Liu, Q. (2019). Working memory capacity affects trade-off between quality and quantity only when stimulus exposure duration is sufficient: Evidence for the two-phase model. *Scientific Reports, 9*(1), 8727.
Zhang, M., & Zhang, Y. (2007). The relationship between working memory and selective attention. *Advances in Psychological Science*, *15*(1), 8–15.
[张明, 张阳. (2007). 工作记忆与选择性注意的交互关系. *心理科学进展, 15*(1), 8–15.]

The mechanism of retro-cue effect in visual working memory: Cognitive phase separation

YE Chaoxiong[1,2]; HU Zhonghua[1]; LIANG Tengfei[1,3]; ZHANG Jiafeng[4,5]; XU Qianru[1,2]; LIU Qiang[1]
([1] *Institute of Brain and Psychological Sciences, Sichuan Normal University, Chengdu* 610000, *China*)
([2] *Department of Psychology, University of Jyvaskyla, Jyvaskyla* 40014, *Finland*)
([3] *Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)
([4] *CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*)
([5] *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract

Retro-cue effect (RCE) refers to the phenomenon that individuals can use retro-cues to improve their visual working memory (VWM) performance of target items after the disappearance of memory targets. To explain the mechanism of RCE in VWM, five different hypotheses have been proposed by previous studies: the hypothesis of enhancing target representations, the hypothesis of forgetting non-target representations, the hypothesis of preventing memory degradation, the hypothesis of preventing interference from probe array and the hypothesis of cognitive phase separation. Although RCE has been repeatedly observed in previous studies, the mechanism of RCE remains unclear. In this study, we conducted three experiments to test these hypotheses.

In Experiment 1, participants were asked to memorize four colors in a recall task. They needed to recall the color of the target item when the probe array presented. There are three experimental conditions, the normal cue condition, the short interval no-cue condition, and the long interval no-cue condition. In the normal cue condition, a memory array (four colored squares) presented for 200 ms. Then, the memory array disappeared for 450 ms and a retro-cue presented, followed by a 900 ms blank. Then the probe array presented. In the short interval no-cue condition and long interval no-cue condition, no retro-cue presented after the memory array, but the probe array would present after the memory array disappeared for 450 ms (short interval no-cue condition) or 1400 ms (long interval no-cue condition). The design and procedure of Experiment 2 were similar to those of Experiment 1, except we used a grey-wheel cue condition and a colored-wheel cue condition to replace the long interval no-cue condition. These two new conditions were similar to the normal cue condition, except the retro-cue would appear with a distractor of a gray wheel (grey-wheel cue condition) or with a distractor of a colored wheel (colored-wheel cue condition). The design and procedure of Experiment 3 were similar to those of Experiment 2, except a long-grey-wheel short-cue condition and a long-grey-wheel long-cue condition were used to replace the normal cue condition and colored cue condition. In the long-grey-wheel short-cue condition, the retro-cue presented for 100 ms, but the grey wheel presented for 1000 ms. In the long-grey-wheel long-cue condition, the retro-cue and grey wheel presented for 1000 ms.

The results of Experiment 1 showed that there was no significant difference in memory performance between the short interval no-cue condition and long interval no-cue condition, while the performance of the

normal cue condition was better than that of short and long interval no-cue conditions. The results of Experiment 2 showed that participants obtained the RCE under the normal cue, the grey-wheel cue, and the colored-wheel cue conditions. However, the degrees of RCE obtained by these three conditions were different (normal cue > grey-wheel cue > colored-wheel cue). The results of Experiment 3 showed that participants obtained the RCE under the grey-wheel cue condition, the long-grey-wheel short-cue condition, and long-grey-wheel long-cue condition. The degree of RCE obtained by these three conditions was the same.

The results of the present study supported the hypothesis of cognitive phase separation, which suggested that the retro-cue can separate the internal attention reallocation process and decision-making process, avoiding cognitive interference from the probe display. In addition, when the retro-cue was accompanied by the distractors, the type of distractors (rather than the presentation time) affected the degree of RCE. This study provides further evidence for the hypothesis of cognitive phase separation, which is crucial to solve the debate on the mechanism of RCE and to understand the relationship between attention and VWM.

Key words　visual working memory; retro-cue effect; cognitive phase separation hypothesis; internal attention; recall task